

Резонанс в системе связанных контуров

Различают несколько видов резонанса

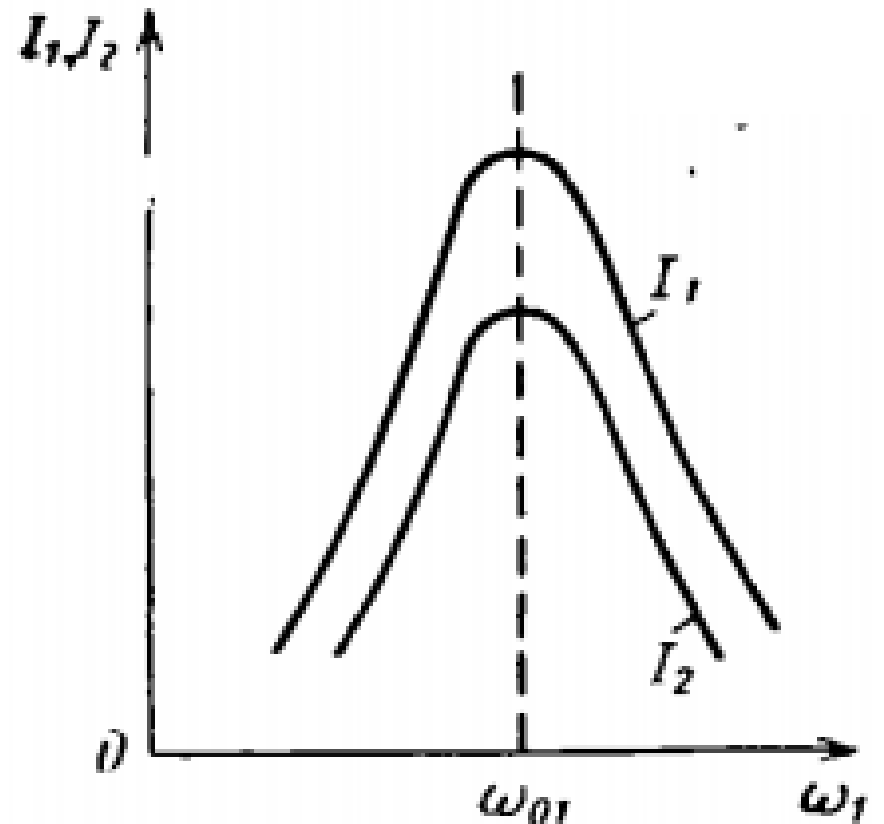
Первый частный резонанс означает, что максимумы коэффициента передачи напряжения и тока во вторичном контуре достигаются только настройкой первичного контура.

Второй частный резонанс заключается в получении максимумов коэффициента передачи напряжения и тока во вторичном контуре посредством настройки вторичного контура.

При первом и втором частных резонансах эти максимумы еще не достигают того предела, который наблюдается при полной настройке.

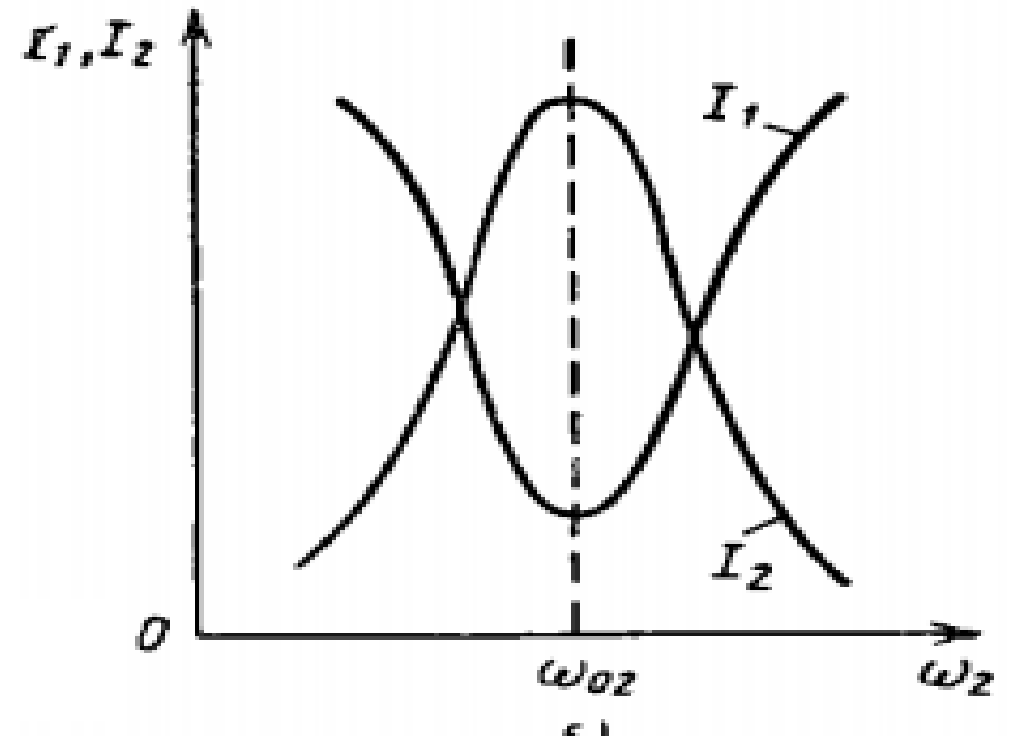
Когда собственная частота контура ω_1 станет равной некоторой величине ω_{01} , настанет резонанс первичного контура. Это, очевидно, приведет к увеличению до максимума ЭДС и тока во вторичном контуре I_2 , т.е. наступит первый частный резонанс.

Отсюда следует **вывод**: по мере приближения собственной частоты первичного контура ω_1 к частоте первого частного резонанса ω_{01} токи в обоих контурах возрастают.



Теперь положим, что настройка первичного контура произвольна и постоянна так же, как амплитуда и частота э.д.с. генератора. При настройке вторичного контура в резонанс, полное сопротивление вторичного контура станет чисто активным и минимальным, а ток в этом контуре I_2 — максимальным, т.е. наступит второй частный резонанс.

*Изменения токов в контурах,
показанные ранее, справедливы,
строго говоря,
при небольшой расстройке контуров*



Увеличение тока I_2 сопровождается ростом э.д.с., индуцируемой этим током в первичном контуре. Вместе с индуцируемой э.д.с. растет и сопротивление, вносимое из вторичного контура в первичный. В результате понижается ток в первичном контуре. Значит, отклонение собственной частоты ω_2 от частоты второго частного резонанса ω_{02} сопровождается уменьшением тока во вторичном контуре I_2 и увеличением тока в первичном контуре I_1 .

Полный резонанс

Предельный максимум тока во вторичном контуре достигается при **полном резонансе**. Условия полного резонанса:

1) при отключенном вторичном контуре настраивают первичный контур для получения в нем наибольшего тока I_{1m} ; *поскольку это одиночный контур, ток I_{1m} получается тогда, когда собственная частота контура ω_0 равна частоте генератора, а реактивное сопротивление $x_1 = 0$;*

2) устанавливают весьма слабую связь и настраивают вторичный контур до образования в нем наибольшего тока I_{2m} ; так как связь очень слабая, то вносимыми сопротивлениями можно пренебречь и считать, что ток I_{2m} получается, как в одиночном контуре, при $x_2 = 0$, т.е. когда собственная частота вторичного контура равна той же частоте генератора ω_0 ;

3) усиливают связь между контурами до тех пор, пока ток во вторичном контуре не достигнет своего предельного максимума I_{2mm} .

После первых двух этапов настройки ($x_1 = 0$ и $x_2 = 0$) реактивные составляющие вносимого и входного сопротивлений равны нулю. Ток в первичном контуре равен

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{R_{\text{вх}}} = \frac{\mathcal{E}_1}{r_1 + \frac{\omega_0^2 M^2}{r_2}} = \frac{\mathcal{E}_1}{r_1 \left(1 + \frac{\omega_0^2 M^2}{r_1 r_2} \right)}$$

Ток вторичного контура

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{r_2} = \frac{I_1 \omega_0 M}{r_2} = \frac{I_1 x_{св}}{r_2}$$

В результате получается, что с увеличением связи ток вторичного контура сначала увеличивается, а затем уменьшается. Максимум тока I_{2m} оказывается предельным и достигается при $M = M_{кр}$, т.е. полный резонанс наблюдается при оптимальной или критической связи.

Название «оптимальная связь» происходит от того, что ей соответствует наибольшая мощность во вторичном контуре, а *«критическая связь» — от того, что ей соответствует существенное изменение формы амплитудно-частотной характеристики.*

Величину оптимальной (критической) связи можно определить когда в цепи имеется наибольший ток I_{2mm} во вторичном контуре, который получается при $r_{вн} = r_1$, т.е. При

$$r_1 = \frac{x_{св\ кр}^2}{r_2} = \frac{\omega_0^2 M_{кр}^2}{r_2}, \quad \text{откуда} \quad x_{св\ кр} = \omega_0 M_{кр} = \sqrt{r_2 r_2}.$$

Если разделить левую, а затем правую части равенства на $\sqrt{\omega_0 L_1 \omega_0 L_{II}}$:
получим

$$\frac{\omega_0 M_{кр}}{\sqrt{\omega_0 L_1 \omega_0 L_{II}}} = \frac{M_{кд}}{\sqrt{L_1 L_{II}}} = k_{кр},$$

$$\sqrt{\frac{r_1 r_2}{\omega_0 L_1 \omega_0 L_{II}}} = \sqrt{\frac{r_1}{\rho_1} \cdot \frac{r_2}{\rho_2}} = \sqrt{d_1 d_2},$$

где $k_{кр}$ – коэффициент критической связи, d_1 и d_2 затухание первичного и вторичного контуров.

Таким образом, установлено **третье условие полного резонанса** (первые два $x_1 = 0$, $x_2 = 0$): $k_{кр} = \sqrt{d_1 d_2}$. Когда связанные контуры одинаковы ($d_1 = d_2 = d$), то $k_{кр} = d$, т.е. полный резонанс получается при коэффициенте связи, численно равном затуханию одного из связанных контуров.

Напряжения, токи и энергетические соотношения

Выходное напряжение снимается с емкостного сопротивления. Следовательно, при одинаковых контурах ($r_1 = r_2 = r$, $\rho_1 = \rho_2 = \rho$)

$$U_{2mm} = I_{2mm} \rho_2 = \frac{\partial_1 \rho_2}{2 \sqrt{r_1 r_2}} = \frac{\partial_1 \rho}{2r} = \frac{\partial_1 Q}{2},$$

А коэффициент передачи напряжения

$$K_{mm} = \frac{U_{2mm}}{\partial_1} = \frac{Q}{2}.$$

Сопоставив коэффициенты передачи последовательного и связанного контура при резонансе, можно отметить, что у связанных он меньше в 2 два раза. Причина этого заключается в том, что при равенстве $r_1 = r_{вн}$ только половина мощности, расходуемой генератором, поступает во вторичный контур, а остальная мощность теряется в первичном контуре.

При настройке ряда схем, содержащих связанные контуры, стремятся к увеличению не коэффициента передачи напряжения, а мощности при минимальных затратах энергии.

Колебательная мощность генератора P_k расходуется в первичном P_1 и вторичном P_2 контурах

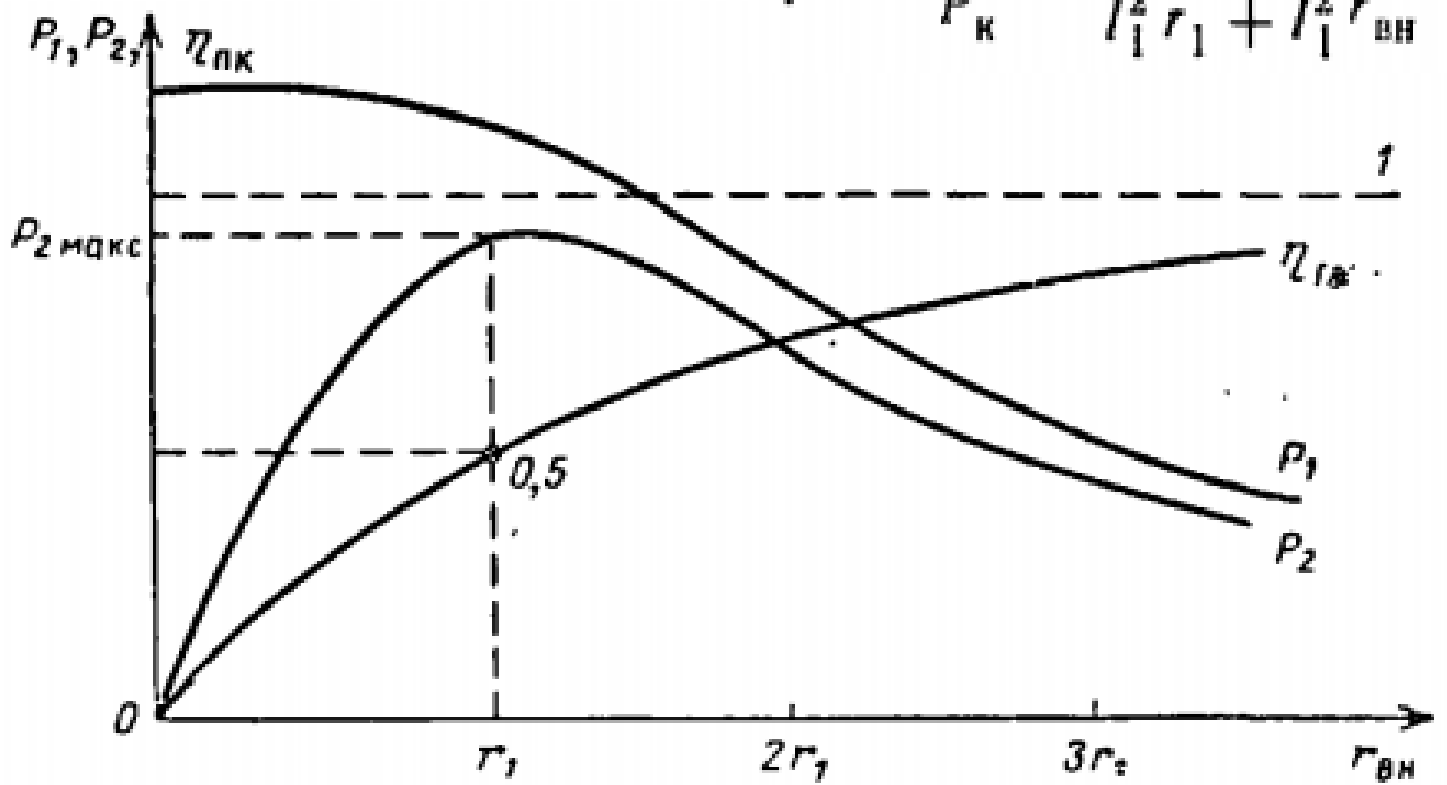
$$P_k = P_1 + P_2 = I_1^2 r_1 + I_1^2 r_{вв}.$$

Мощность P_1 в соответствии с изменением тока I_1 уменьшается с усилением связи, но при $r_{вн} < r_1$ медленнее, чем при $r_{вн} > r_1$

Мощность P_2 согласно изменениям тока I_2 повышается до максимума $P_{2\text{макс}}$ при усилении связи от нуля ($r_{вн} = 0$) до критической ($r_{вн} = r_1$), после чего P_2 понижается.

КПД первичной цепи (промежуточного контура) $\eta_{пк}$, равный отношению мощности во вторичном контуре P_2 ко всей колебательной мощности генератора $P_к = P_1 + P_2$, неизменно растет с усилением связи между контурами (ростом $r_{вн}$).

$$\eta_{пк} = \frac{P_2}{P_к} = \frac{I_1^2 r_{вн}}{I_1^2 r_1 + I_1^2 r_{вн}} = \frac{r_{вн}}{r_1 + r_{вн}}$$



При полном резонансе ($r_{\text{вн}} = r_1$) к.п.д. промежуточного контура равен

$$\eta_{\text{пк}} = \frac{r_{\text{вн}}}{r_1 + r_{\text{вн}}} = 0,5,$$

т.е. в обоих контурах поровну распределяется мощность генератора ($P_1 = P_2$). Если требуется более высокий к.п.д. $\eta_{\text{пк}}$, то отказываются от применения полного резонанса и устанавливают связь, большую критической, но это влечет за собой некоторое понижение мощности колебаний во вторичном контуре.